

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИЁМНИКА ГНСС В МАЛОГАБАРИТНОЙ АППАРАТУРЕ

В.Г. Валеев¹, И.Н. Корнилов¹

(¹ Екатеринбург, УрФУ им. Первого Президента РФ Б.Н. Ельцина, vg_valeev@list.ru)

GNSS RECEIVER INTERFERENCE IMMUNITY INCREASE FOR SMALL-SIZED EQUIPMENT

V.G. Valeev, I.N. Kornilov

Для решения проблемы повышения помехоустойчивости аппаратуры потребителя (АП) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) наибольшее внимание уделяется разработкам адаптивных антенных решёток и цифровых подавителей помех, использующих принципы пространственной и частотной режекции [1]. Но рассматриваемые устройства используют цифровую обработку сигналов, что приводит к существенному увеличению энергопотребления АП. Такие устройства могут быть применены только в тех случаях, когда нет ограничений на габариты и энергопотребление АП. Для малогабаритных изделий (с габаритным размером АП меньше 15 см) отмеченные решения не пригодны по причине малых размеров аппаратуры, в которых невозможно реализовать адаптивную антенную решётку и обеспечить необходимое энергопотребление.

Проблема защиты от помех малогабаритной АП может быть решена путём применения в приёмнике алгоритмов обработки сигнала, предназначенных для повышения помехоустойчивости приёма при негауссовских помехах [2]. Наиболее привлекательными являются асимптотически оптимальные алгоритмы, которые приводят к нелинейной обработке сигнала. Такие алгоритмы, как показано в настоящей работе, могут быть реализованы аналоговыми средствами, и их реализация не приводит к существенному увеличению размеров и энергопотребления приёмника.

Условия эффективного применения асимптотически оптимальных алгоритмов совпадают с условиями работы АП в системах спутниковой навигации. Эти условия сводятся к следующим: отношение сигнал/помеха в принятом сигнале намного меньше единицы, помеха существенно отличается от гауссовского шума, полезный сигнал некоррелирован с помехой и обработка сигнала в приёмнике включает процедуру когерентного накопления.

В качестве помех рассматриваются внешние высокочастотные колебания с произвольной угловой модуляцией. Из теории обнаружения сигналов [2] получаем структуру приёмника с защитой от помех, показанную на рис.1.

Блок нелинейной обработки (БНО) преобразует входной сигнал $x(t)$ по алгоритму

$$f(x) = c \left[x - \frac{A_0 \pi}{4} \text{sign}(x) \right], c > 0 \quad (1)$$

гауссовский приёмник оптимизирован для приёма сигналов на фоне белого гауссовского шума. В (1) $x(t)$ представляет смесь полезного сигнала, внешней помехи с амплитудой A_0 и шума с мощностью в полосе приёмника σ^2 . Рассматривается условие

$$\alpha = A_0^2 / 2 \sigma^2 \gg 1,$$

при котором внешние помехи создают наибольшую угрозу нормальной работе АП.

Физический смысл нелинейной обработки по алгоритму (1) заключается в компенсации внешней помехи. Компенсирующий сигнал формируется как составляющая преобразования $A_0 \pi \cdot \text{sign}(x)/4$ на несущей частоте входного сигнала. Высшие гармоники такого преобразования выходят за пределы полосы пропускания приёмника и поэтому не оказывают влияния на конечный результат обработки. В

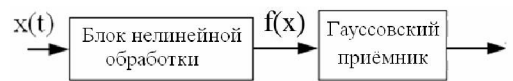


Рис. 1

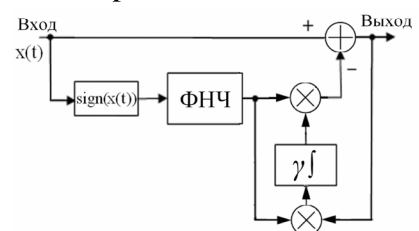


Рис. 2

реальных условиях амплитуда A_0 неизвестна и может изменяться. Поэтому выполняется адаптация алгоритма обработки по параметру A_0 .

Адаптивные варианты алгоритма (1) реализуются по схемам, показанным на рис.2 и рис.3. В первом варианте компенсация помехи выполняется на радиочастоте, а настройка по параметру A_0 достигается с помощью корреляционной обратной связи. Во втором варианте помеха подавляется путём соответствующей обработки огибающей принятого сигнала.

Исследование эффективности применения адаптивной нелинейной обработки в приёмнике АП было выполнено методом математического и полунатурного моделирования.

Математическое моделирование позволило оценить влияние нелинейной обработки на повышение отношения сигнал/помеха на выходе коррелятора навигационного приёмника ГЛОНАСС. Нелинейная обработка моделировалась по схеме рис.2.

В полунатурном моделировании исследовалась точность оценки координат потребителя реальным приёмником сигналов GPS. При этом имитация навигационных сигналов и помех выполнялась программно-аппаратными средствами NI, а нелинейная обработка осуществлялась по схеме рис.3.

Рассматривались три вида помех: немодулированное колебание, ЧМ колебание с девиацией 1 МГц при частоте модуляции 100 кГц и сигналоподобная помеха. Все помехи формировались в полосе пропускания приёмника ГНСС и по мощности превосходили полезный сигнал на 20 – 50 дБ.

Результаты исследования показали, что в рассмотренных условиях нелинейная обработка позволяет значительно повысить помехоустойчивость приёмника ГНСС. При этом эффект от её применения практически не зависит от ширины спектра помехи.

Для устойчивой работы приемника, как в условиях отсутствия, так и наличия помех, в составе приёмника необходимо иметь кроме БНО ещё обнаружитель помех. Признаком наличия помехи может служить факт превышения уровнем амплитуды принятого сигнала заранее установленного порогового значения. При этом БНО вводится в обработку принятого сигнала только при обнаружении помехи.

Оценим повышение энергопотребления АП при встраивании в неё защиты от помех по схеме рис. 3. При практической реализации данной схемы ограничитель может быть реализован в виде двухполярного компаратора, умножитель по схеме, содержащей два полевых транзистора и два операционных усилителя. Детектор огибающей и ФВЧ могут быть выполнены с помощью пассивных компонентов. Общее энергопотребление устройства защиты будет определяться компаратором и двумя операционными усилителями. Для реализации компаратора можно использовать микросхему LMV762, а два операционных усилителя содержит в себе микросхема LMV722. При этом общее потребление устройства встроенной защиты от помех не будет превышать 10 мВт.

Энергопотребление современных приёмников ГНСС: ГЕОС-3 - 100 мВт, NV08С-МСМ - 150 мВт, NEO-6 - 117 мВт. Следовательно, дополнение приёмника устройством встроенной защиты от помех увеличит энергопотребление АП не более, чем на 10 %.

Выводы

Применение предлагаемого алгоритма для защиты от помех позволяет повысить пороговый уровень помехи на 30...35 дБ. При этом не возникает существенного увеличения размеров и энергопотребления навигационного приёмника, что даёт возможность создания защиты от помех в приёмниках, выполненных на одном кристалле с лимитированным энергопотреблением.

Литература

1. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2010. 800 с.
2. Валеев В.Г. Обнаружение сигналов в негауссовских помехах // В кн.: Теория обнаружения сигналов/ Под ред. Бакута П.А. – М.: Радио и связь, 1984, с. 266–325.

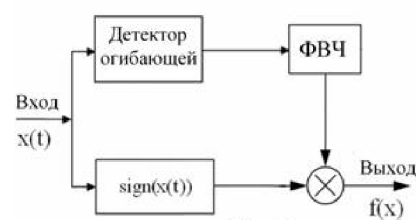


Рис. 3